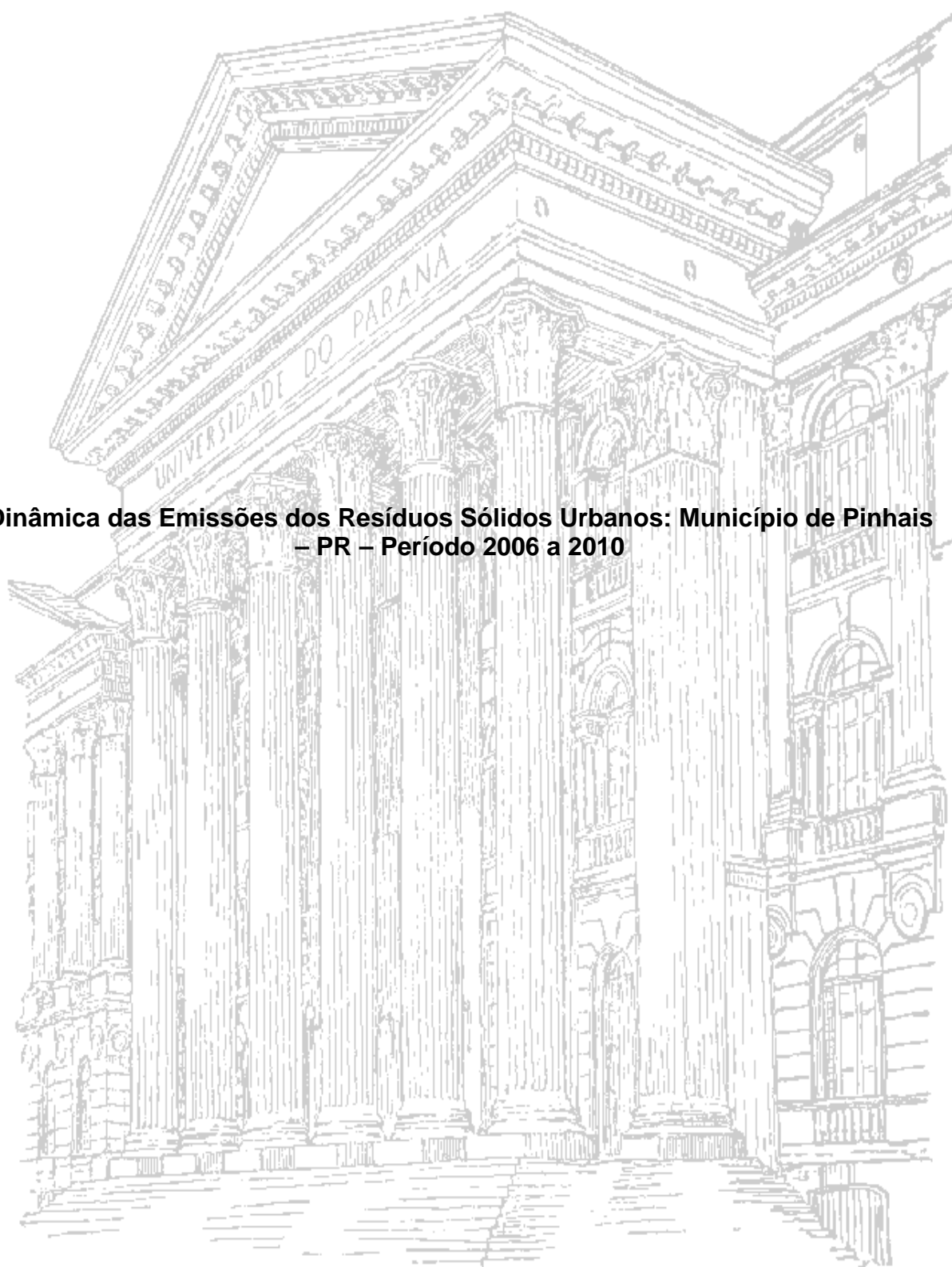


MARIANA ESPINDOLA DE SOUZA

**Dinâmica das Emissões dos Resíduos Sólidos Urbanos: Município de Pinhais
– PR – Período 2006 a 2010**



CURITIBA
2012

MARIANA ESPINDOLA DE SOUZA

**Dinâmica das Emissões dos Resíduos Sólidos Urbanos: Município de Pinhais
– PR – Período 2006 a 2010**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como quesito parcial para a obtenção do título de Especialista em Mudanças Climáticas, Projetos Sustentáveis e Mercado de Carbono ao Programa de Educação Continuada em Ciências Ambientais do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.
Orientadora: Ana Paula Dalla Corte, Dra.

CURITIBA
2012

Sumário

<i>Resumo</i>	III
<i>Abstract</i>	IV
<i>Agradecimentos</i>	V
1 Introdução	1
2 Revisão da literatura	3
3 Área de estudo	6
4 Metodologia	8
4.1 Estimativa para população residente em Pinhais para os anos de 2005, 2006, 2008 e 2009	8
4.2 Estimativa de Emissões de Metano	9
4.3 Equações e Cálculos de Base	10
4.3.1 Fração de metano no gás de aterro (F)	10
4.3.2 Metano Recuperado ($R(t)$)	10
4.3.3 Fração de resíduos sólidos coletados em Pinhais e dispostos no aterro da Caximba em Curitiba ($MSW_{F(x)}$)	11
4.3.4 Fator de correção de metano ($MCF_{(x)}$)	11
4.3.5 Carbono orgânico degradável ($DOC_{(x)}$)	11
4.3.6 Fração de carbono orgânico degradável dissimilado ($DOC_{(f)}$)	12
4.3.7 Fator de Oxidação (OX)	12
4.3.8 Constante de geração de metano - k e Fator de normalização para a soma - A	13
4.3.9 Potencial de Geração de Metano	13
4.3.10 Equação de emissão de metano	14
4.3.11 Período de avaliação de emissões	15
5 Resultados e Discussão	16
5.1 População	16
5.2 Taxa de resíduos sólidos gerados por habitante (taxa $MSW_{T(x)}$)	16
5.3 Parâmetros e cálculos utilizados	18
6 Conclusões e Recomendações	21
REFERÊNCIAS	23

Resumo

As alterações do perfil de consumo da população brasileira foram significativas após a implantação do Plano Real, se considerarmos em conjunto a busca pela “estabilidade” econômica os fenômenos migratórios e o adensamento de centros urbanos, temos um incremento populacional em áreas pequenas, quando comparado com a área do território brasileiro. As alterações de consumo de bens duráveis, não-duráveis e serviços que resultou em retomada da economia acompanhada pelo acréscimo de produção de resíduos, seja para transporte, embalagem, e outros desses produtos consumidos. Não foi diferente no Município de Pinhais, localizado na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), Estado do Paraná. O presente estudo visa o interesse local, regional e científico, ao levantar questões no contexto dos resíduos sólidos urbanos – municipais sobre o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O objetivo desse artigo é analisar e estimar a quantidade de emissões e Gases de Efeito Estufa (GEE), metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) ambos em toneladas equivalente, produzidos pelo Município de Pinhais e dispostos pelo no aterro sanitário da Caximba, em Curitiba, no período de 2006 a 2010. Para isso foi utilizado o método proposto pelo *Intergovernmental Panel of Climate Change* (IPCC, 1996) na simulação da dinâmica. O período de simulação considerado um para um cenário de trinta anos. Para tanto serão necessários dados de população e o cálculo da taxa de resíduos sólidos gerada por habitante para o período em estudo, que serão resultados parciais. Os resultados obtidos nesse trabalho quantificam a estimativa e mostram a dinâmica do período avaliado, considerando a quantidade de gases pelo metano recuperado do aterro em questão. Para o município em estudo foi obtido o total de 183.768 ton CO_2 equivalente de emissões. Com esses resultados é esperado que seja estimulado a coleta de dados nos municípios (manutenção de série histórica) bem como maior estudo sobre a temática, podendo a servir como instrumentos e subsídios para formulação de políticas públicas de cunho sócio ambiental direcionado ao(s) aterro(s) da RMC.

Palavras-chave: aterro sanitário, gases de efeito estufa, resíduos sólidos domiciliar municipal,

Abstract

The changes to the profile of the Brazilian population were significant after the implementation of the Real Plan, if we consider together the search by "stability" economic migration and the densification of urban centers, we have a population increment in small areas, when compared with the area of the Brazilian territory. The changes in consumption of durable goods and nondurable goods and services that resulted in recovery of the economy accompanied by increased production of waste, is for transport, packaging, and other such products consumed. It was not different in the City of Pines, located in the Metropolitan Area of Curitiba, Parana State. This paper intended the local, regional and scientific interest, to raise issues in the context of municipal solid waste - municipal on the Clean Development Mechanism (CDM). The aim of this paper is to analyze and estimate the quantity of emissions and Greenhouse Gases (GHG), methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) both in tonnes equivalent, produced by the Municipality of Pinhais and prepared by the landfill Caximba in Curitiba, in the period from 2006 to 2010. For this we used the method proposed by Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC, 1996) in the simulation of the dynamics. The period of simulation considered for a scenario of thirty years. For both data will be needed for population and the calculation of the rate of solid waste generated per capita for the period under study, which will be partial results. The results obtained in this study quantified the estimate and show the dynamics of the period measured, whereas the quantity of gas by methane recovered from landfill in question. For the city in study was obtained a total of 183,768 ton CO₂ equivalent emissions. With these results and expected that is stimulated to data collection in the municipalities (maintenance of historical series) as well as largest study on the subject, and may serve as instruments and allowances for the formulation of public policies social environmental directed to(s) landfill(s) of CMR.

Keywords: Landfill. Greenhouse gases, Municipal Solid Waste

Agradecimentos

Agradeço a Universidade Federal do Paraná em especial ao Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias — Coordenador do Curso de Mudanças Climáticas, Mercado de Carbono e Projetos Sustentáveis pela bolsa de estudos, Professor Carlos Roberto Sanquetta.

À Prefeitura Municipal de Pinhais – Secretaria de Desenvolvimento Sustentável – em especial ao Departamento de Planejamento Urbano - Gerência de Informação – Rodrigo Lacerda Marques e ao Departamento Meio Ambiente – Amanda Caroline Schemim.

À Professora Ana Paula Dalla Corte pela orientação, auxílio e sugestões para o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço a Deus e a minha família pelo apoio e incentivo pela continuidade dos estudos.

1 Introdução

O acelerado processo de urbanização ocorrido no Brasil, juntamente com o crescimento econômico do país, em especial após a implantação do Plano Real e o aumento do poder econômico da população em bens duráveis, de consumo e serviços provocou um acréscimo na produção de resíduos. Não foi diferente no Município de Pinhais, localizado na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), Estado do Paraná.

Conforme estudos realizados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC – *Intergovernmental Panel of Climate Change*, 2006) sobre alteração climática provocada pela emissão e concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera, em áreas urbanas, há fontes geradoras em veículos, indústrias e resíduos em gerais, em destaque o Resíduo Sólido Urbano (RSU) também denominado de resíduo domiciliar. Esse se torna mais complexo a cada dia visto, o volume, o aumento populacional e a diversificação de produtos industrializados consumidos pela população.

De acordo com dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) cerca de 70% dos municípios brasileiros não dispõem de aterros sanitários, não tendo estes resíduos o destino adequado.

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo analisar a dinâmica das emissões de GEE gerados a partir da quantidade de resíduos gerados pelo município de Pinhais e dispostos no aterro sanitário da Caximba, em Curitiba, no período de janeiro de 2006 a dezembro de 2010. Com o estudo foi possível estimar a população para o período avaliado bem como obteve em decorrência dessa a taxa de resíduos sólidos urbanos do município de Pinhais para os anos de 2005 a 2010. Foi quantificada a massa de resíduos depositados no aterro, bem como a quantidade de emissões de gases de efeito estufa (GEE) que foram captadas e queimadas no aterro sem gerar créditos de carbono para Pinhais e Curitiba no período de 2006 a 2010.

O presente estudo visa o interesse local, regional e científico, ao levantar questões no contexto dos RSU, para fins de denominação os Resíduos Sólidos Urbanos coletados e dispostos pelos municípios foram denominados de Resíduos Sólidos Municipais (RSM), sobre o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), abordando desde a coleta até a disposição final desses. É esperado com o presente

estudo que seja incentivado a coleta de dados (manutenção de série histórica) bem como maior estudo sobre a temática, que poderá servir como instrumento e subsídio para formulação de políticas públicas de cunho sócio ambiental direcionado ao(s) aterro(s) da RMC.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram levantadas referências bibliográficas sobre o tema central e outros relacionados a esse, como por exemplo, a área de estudo, a fim de compreender sobre resíduos sólidos municipais de Pinhais. Em paralelo foi realizado levantamento de dados sobre a população, a quantidade de resíduos sólidos urbanos coletados pela Prefeitura do Município de Pinhais, bem como informações sobre o sistema de coleta, tratamento e disposição final dos mesmos.

2 Revisão da literatura

Segundo MOHAREB *et Al.* (2011), os gases produzidos nos aterros sanitários são provenientes da digestão anaeróbia dos RSM e são quantificados como GEE para efeitos de inventários municipais – resíduos sólidos. Os GEE são liberados nas várias formas de tratamento de RSM. De acordo com o inventário Canadense de resíduos em 2007, a maior fonte de emissão de GEE, correspondendo a 95% de todo o setor de resíduos são os aterros sanitários, ou seja, a digestão anaeróbia que ali ocorre MOHAREB *et Al.* (2011). Quando os resíduos são ali depositados e inicia-se o processo de degradação anaeróbia a produção de biogás é iniciada e cerca de 50% do gás produzido é metano (CH_4). O metano é cerca de 21 vezes mais agressivo que o dióxido de carbono (CO_2), também denominado de gás carbônico (WEITZ *apud* HOUGHTON, 1996). No entanto esse fator não é pacífico, RITZKOSKI & STEGMANN (2012) afirma que o potencial de aquecimento global do CH_4 é 25 vezes maior que o CO_2 .

Para RITZKOSKI & STEGMANN (2012), dentre os GEE antropogênicos, o CH_4 possui o segundo maior efeito sobre o clima depois CO_2 , as emissões de CH_4 antropogênico representam cerca de 70% de toda emissão mundial do gás. Segundo estudos do IPCC (1995), em nível global cerca de 40 a 60 Mega Tonelada (MT) por ano de CH_4 são provenientes de aterros sanitários, aterros controlados e lixões correspondendo a cerca de 11 a 12% das emissões de GEE antropogênico de CH_4 . Isso classifica os RSM em 3º posição, perdendo apenas para arrozais (60 MT/ano) e gado (85 MT/ano) - (IPCC, 1995). O autor cita que na Alemanha, as emissões de CH_4 provenientes de RSU contribuíram em 2,83% para o inventário de emissões do ano de 1990. O sistema de tratamento de RSU e GEE foi aprimorado reduzindo as emissões de GEE originados no RSU para 1,08% das emissões contabilizadas no inventário nacional Alemão de 2004.

De acordo com o Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE BRASIL (2006), em 1990 os resíduos representavam 9% do total de emissões antrópicas de GEE e em 2005 11%. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB (IBGE, 2000), no Brasil 73,2% dos RSM coletados eram dispostos em aterros sanitários ou controlados. Conforme esse resultado pode ter sido otimista de modo a evitar a exposição de deficiências no sistema, visto que

os fornecedores dessas informações foram os municípios e órgãos responsáveis pelo serviço de limpeza urbana.

Para o Segundo Inventário Brasileiro de Emissões de gases de Efeito Estufa dos Setores de Resíduos e Efluentes, BRASIL (2010), (RNI – RE) foram convidadas as secretarias estaduais de meio ambiente a fim de compor a Rede, também foram convidadas empresas públicas e privadas de tratamento de resíduos sólidos, associações de classe, secretarias de governo e também houve contribuições de empresas de limpeza pública e operadoras de sistema de tratamento de resíduos. A rede possibilitou a identificação de colaboradores estaduais, o produto, inventário de resíduos sólidos e efluentes domésticos do Paraná e Espírito Santo e o inventário de resíduos sólidos de Pernambuco e do Rio Grande do Sul.

A elaboração do Inventário de Emissão de Gases de Efeito Estufa do Estado do Paraná (2007) foi um estudo que possibilitou o levantamento de dados, de forma organizada, para elucidar ações diretivas a fim de controlar e reduzir as emissões de GEE. O inventário evidenciou o perfil da emissão no Estado, sendo fundamental para orientar políticas públicas e regulamentações para o monitoramento e controle.

O inventário estadual foi dividido em três grandes grupos, conforme metodologia do IPCC (1996), o que nos interessa é o primeiro grupo: emissão por resíduos sólidos urbanos.

Segundo MORAIS (2005), o aterro sanitário da Caximba entrou em operação em novembro de 1989 e foi projetado para atender uma taxa de geração de resíduos média de 0,55 kg/hab. dia, vida útil de 10 anos de atividade, atendendo aos municípios de Almirante Tamandaré, Curitiba e São José dos Pinhais. A vida útil desse aterro acabou prolongada em decorrência da implantação do sistema de coleta seletiva no município de Curitiba e pela indisponibilidade de novas áreas para a disposição de RSU. Com o decorrer do tempo, foi ampliada a quantidade de municípios que utilizavam o aterro, passando a serem 14 municípios em 2005. (MORAIS, 2005).

Para WEITZ (2012), o decaimento dos RSU dispostos em aterro sanitário produz CH₄, CO₂ e outros compostos de gases orgânicos voláteis. De acordo com CHRISTENSEN *et Al.* (1998) o lixiviado de aterro sanitário permanece na fase metanogênica estável durante décadas e, até o presente momento, não foram detectadas fases posteriores nos aterros monitorados por até 30 anos.

No Brasil, a taxa de geração de resíduos por habitante varia de 0,4 a 0,7 kg/hab.dia (Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares e de Serviços de Saúde – Prolixo CETESB, 1992) e pode ser visualizado na tabela 2 – Geração Média de Resíduos Sólidos por Habitante por dia.

Tabela 1 - Geração média de resíduos sólidos por habitante por dia - $MSW_{T(x)}$

Até 100.000 hab.	0,4kg/hab./dia
De 100.001 a 500.000 hab.	0,5kg/hab./dia
De 500.001 a 1.000.000 hab.	0,6kg/hab./dia
Mais que 1.000.000 hab.	0,7kg/hab./dia

Fonte: CETESB (1992).

3 Área de estudo

O município de Pinhais está localizado no primeiro planalto Paranaense, a 893 metros de altitude acima do nível do mar, a leste de Curitiba, possui área aproximada de 61 km² e pertencente a Região Metropolitana de Curitiba (RMC). Está inserido na formação Guabirotuba ou Bacia de Curitiba, o solo é formado principalmente por argila e areia depositado ao longo dos rios. As principais características geomorfológicas localizadas nesta região são as planícies de várzeas ou de inundações, com depósitos sedimentares pouco entalhados e frequentes terrenos alagadiços, intercalados com um relevo de vertentes suaves em algumas áreas (PINHAIS, 2012). De acordo com o Plano Diretor Municipal, lei 502/2001 e com a legislação de controle do uso e ocupação do solo, lei 1236/2011 Pinhais pode ser dividida em três áreas, que podem ser visualizadas na figura 1, que são:

- i. Área urbana consolidada;
- ii. Unidade de Planejamento Territorial (UTP);
- iii. Área de Proteção Ambiental do rio Iraí (APA – Iraí).

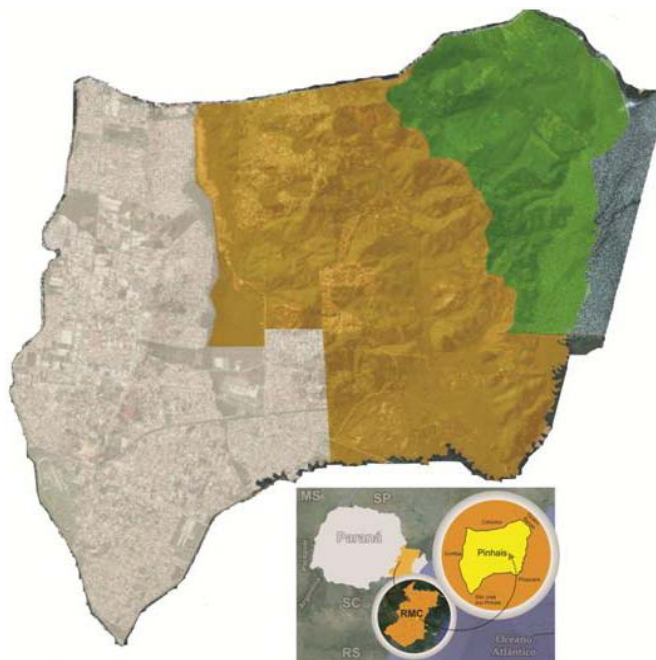


Figura 1 – Município de Pinhais dividido na Malha Urbana Consolidada (cinza), Unidade Territorial de Planejamento – UTP (marrom) e Área de Proteção Ambiental – APA (verde)

Fonte: Adaptado de PINHAIS, 2012.

Essa divisão reflete em restrições ambientais para o município, influenciando diretamente o zoneamento o uso e a ocupação do solo, com adensamento urbano e industrial sujeito a restrições. Mesmo com toda restrição ambiental para a ocupação e instalação de indústrias e serviços, município está entre os quinze primeiros em arrecadação de fiscal no estado.

4 Metodologia

A metodologia aplicada para o inventário de emissões de resíduos foi a do IPCC (2000), as informações coletadas para o cálculo das emissões foram quantitativas e qualitativas sobre o aterro sanitário em questão. Para tal aplicação foi necessário a obtenção de dados com o IBGE (2012), o município em estudo possuía em 2010 uma população de 117.008 habitantes - censo 2010. Na tabela 1 é possível observar a população de Pinhais nos demais Censo e Contagem realizados pelo Instituto. Possui densidade demográfica de 1.918,17 hab./km².

Tabela 2 – População de Pinhais

Ano	1991 Censo	1996 Contagem	2000 Censo	2007 Contagem	2010 Censo
População (habitantes)	75.536*	89.335	102.985	112.038	117.008

Fonte: IBGE, 2010

*população do distrito de Pinhais, Município de Piraquara - censo de 1990.

4.1 Estimativa para população residente em Pinhais para os anos de 2005, 2006, 2008 e 2009

Neste trabalho foi estimada a população residente no Município de Pinhais nos anos de 2005, 2006, 2008 e 2009. A estimativa levou em consideração a população de Pinhais, conforme pode ser visualizada na tabela 01. Para obtermos a quantidade aproximada de habitantes foi realizado o cálculo do crescimento populacional no período. Assim para a estimativa populacional nos anos de 2005 e 2006 foi aplicada a taxa de crescimento obtida entre o censo do ano de 2000 (equação 1) e a contagem realizada no ano de 2007. O mesmo método foi utilizado para o cálculo da população para os anos de 2008 e 2009, porém foi utilizada a taxa de crescimento obtida no período da contagem realizada em 2007 e o censo de 2010. Para ambas as estimativas foram aplicadas taxa de crescimento linear no período.

$$i * \text{população anterior} = \text{população futura}$$

Equação 1

Onde:

População anterior - é a população (residente em domicílios particulares e permanentes) no ano de 2000, por exemplo;

População futura - é a população (residente em domicílios particulares e permanentes) no ano de 2007, por exemplo;

i - é a taxa média de crescimento populacional no período.

4.2 Estimativa de Emissões de Metano

Os dados a sobre a disposição de RSM foram obtidos na Prefeitura de Pinhais, Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Departamento de Planejamento Urbano e Departamento de Meio Ambiente, o município não possui área rural e a coleta de resíduos sólidos urbanos abrange 100% do município.

O município disponibilizou as planilhas de controle e medição da massa de resíduos coletados e dispostos no período citado. O controle é necessário visto o contrato que a Administração pública possui com a empresa que possui a concessão da prestação de serviço de coleta, transporta e com outra empresa que dispõem os resíduos. A forma de pagamento é realizada por meio de medições que remuneram os prestadores de serviços e atendem a imposição da Lei federal 8666/1993 (Brasil, 1993). O pagamento é efetuado pela quantidade de resíduos, em massa, disposta no aterro sanitário.

A última etapa correspondeu ao trabalho de análise de dados e cálculos de emissão de gases do efeito estufa, dados advindos da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável – Departamento de Meio Ambiente, aterro sanitário da Caximba. A estimativa realizada considerou a população urbana e a taxa de geração de resíduos sólidos urbanos de cada ano em estudo.

4.3 Equações e Cálculos de Base

O método utilizado para a estimativa das emissões do Município de Pinhais dos resíduos dispostos entre julho de 2005 e dezembro de 2010 no aterro sanitário da Caximba foi o de decaimento de primeira ordem contido no IPCC (1996) e IPCC (2000). O método também é conhecido como *Tier 2* e é caracterizado por considerar a emissão de CH_4 persistente ao longo de uma série de anos após a disposição do resíduo.

Para a aplicação serão necessários dados relativos ao clima (médias anuais de temperatura e chuva), a quantidade de resíduo aterrada, a composição do resíduo, a qualidade de operação do aterro e as quantidades de CH_4 recuperado e oxidado, que foram retirados da literatura nacional, quando disponível e quando não disponíveis os valores padrão foram fornecidos pelo IPCC.

4.3.1 Fração de metano no gás de aterro (F)

O IPCC recomenda que se considere a fração de metano no gás de aterro igual a 50%, valor padrão fornecido pelo IPCC (2000). Esta é uma amostra selecionada de aterros com potencial para recuperação energética do metano.

4.3.2 Metano Recuperado ($R(t)$)

Segundo o IPCC (2000) a quantidade de metano recuperada ou queimada no Brasil é considerada insignificante visto a inexistência de dados dos locais onde há recuperação. De acordo com o Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatórios de Referência, BRASIL (2010), os primeiros projetos de MDL do Protocolo de Quioto foi arbitrado como linha de base, 20% de queima de metano, nos projetos mais recentes esse índice foi revisto.

O aterro sanitário em estudo possui sistema de drenagem vertical com queimadores para a conversão do gás metano (CH_4) em gás Carbônico (CO_2). Em

função da quantidade de queimadores e ramificação da tubulação de drenagem de gás o aterro queima cerca de 25% do CH₄ gerado, segundo o Inventário de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Setor de Resíduos Sólidos do Paraná no ano de 2005 PARANA (2007).

4.3.3 Fração de resíduos sólidos coletados em Pinhais e dispostos no aterro da Caximba em Curitiba ($MSW_{F(x)}$)

Segundo a Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável (SEMDS, 2012) 100% da população urbana de Pinhais é atendida por serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos, resíduos recicláveis e resíduo verde.

4.3.4 Fator de correção de metano ($MCF_{(x)}$)

De acordo com o IPCC (2000), o fator de correção de metano está associado à qualidade de operação do aterro, para o estudo foi utilizado a classificação disponível no IPCC (2000), o fator de correção de metano para aterro é 1,0.

4.3.5 Carbono orgânico degradável ($DOC_{(x)}$)

O valor do carbono orgânico degradável ($DOC_{(x)}$) mede a composição dos resíduos sólidos, não levando em consideração informações de hábitos do Brasil. O valor utilizado neste trabalho não foi o sugerido pelo IPCC que é 0,12 e sim o valor para o aterro da Caximba no ano de 2007 que era de 0,23.

4.3.6 Fração de carbono orgânico degradável dissimilado ($DOC_{(f)}$)

O IPCC (2000) sugere a utilização de um valor *default* para – $DOC_{(f)}$ entre 0,5 e 0,6. Como havia possibilidade de cálculo, foi utilizada a equação 2, transcrita abaixo:

$$DOC_{(f)} = (0,014 \cdot T) + 0,28 \quad \text{Equação 2}$$

Onde T é a temperatura média no município onde o aterro sanitário está localizado, isto é, Curitiba.

O fator de correção de metano para aterro ($MCF_{(x)}$) utilizado foi de 1,0. O valor utilizado Carbono orgânico degradável ($DOC_{(x)}$) neste foi o do aterro da Caximba no ano de 2007 que era de 0,23. A fração de carbono orgânico degradável dissimilado, ($DOC_{(f)}$), foi calculado pela equação 2 utilizando a temperatura média do município de Curitiba, de acordo com dados do IAPAR (2010).

$$DOC_{(f)} = (0,014 \cdot T) + 0,28 \quad \text{Equação 2}$$

$$DOC_{(f)} = (0,014 \cdot 16,5) + 0,28 = 0,51$$

4.3.7 Fator de Oxidação (OX)

O OX reflete a quantidade de metano dos aterros que é oxidada no solo ou em outro material utilizado na cobertura do resíduo depositado. Se o fator de oxidação é zero, não há oxidação. Por desconhecer estudos a esse respeito no Brasil, foi adotada a recomendação do IPCC (2000) de OX igual a zero e para os aterros sanitários que atendem população superior a 1.000.000 de habitantes $OX = 0,1$.

4.3.8 Constante de geração de metano - k e Fator de normalização para a soma - A

A constante de geração de CH_4 , do método de decaimento de primeira ordem, é relacionada ao tempo de meia vida, isto é, tempo necessário para que a massa de Carbono Orgânico Degradável do resíduo depositado ($\text{DOC}_{(x)}$) possa ser reduzida pela metade da massa inicialmente depositada.

O fator k aplicado está ligado ao local de disposição dos resíduos e é associado à composição dos resíduos, a temperatura média anual da região, ao índice pluviométrico e ao potencial de evapotranspiração (IPCC, 2000).

O fator de normalização para a Soma denominado de A é definido pela equação 03 abaixo:

$$A = \frac{1 - e^{-k}}{k} \quad \text{Equação 3}$$

A constante de geração de metano (k), adotada foi de 0,17, tendo em vista a recomendação do IPCC (1996) para locais com temperatura média anual menor ou igual a 20°C e precipitação média anual igual ou superior a 1000 mm.

O fator de normalização para a soma (A), foi calculado e o resultado obtido, equação 3, foi de:

$$A = \frac{1 - e^{-k}}{k} = 0,919619 \quad \text{Equação 3}$$

4.3.9 Potencial de Geração de Metano

O Potencial de Geração de Metano - $L_{0(x)}$ foi estimado conforme a Equação 4 reproduzida abaixo.

$$L_{0(x)} = MCF_{(x)} \cdot DOC_{(x)} \cdot DOC_{(f)} \cdot F \cdot \frac{16}{12}$$

Equação 4

$$L_{0(x)} = 1 \cdot 0,23 \cdot 0,52 \cdot 0,5 \cdot \frac{16}{12} = 0,0782$$

4.3.10 Equação de emissão de metano

O método de decaimento de primeira ordem (*Tier 2*) é descrito na equação 5. Tem-se o cálculo de emissões de metano dos locais de disposição de resíduos sólidos - LDRS – o qual foi revisado pelo IPCC (1996). Para os desdobramentos dessa equação, foram levantados dados e realizados cálculos adaptados sobre cada parâmetro necessário.

$$Q_{(t)} = \sum_x^t \{ [A \cdot k \cdot MSW_{T(x)} \cdot MSW_{F(x)} \cdot L_{0(x)} \cdot e^{-k(t-x)}] - R(t) \} \cdot (1 - OX)$$

Equação 5

onde:

$Q_{(t)}$ = Quantidade de metano gerado no ano t [GgCH₄/ano]

t = Ano do inventário [ano] = 2012

x = Ano para o qual o dado foi considerado

A = Fator de normalização para a soma [adimensional]

k = Constante de decaimento [1/ano]

$MSW_{T(x)}^1$ = Quantidade total de resíduo sólido urbano gerado no ano
x [Gg MSW/ano]

$MSW_{F(x)}$ = Fração de MSW destinado ao aterro no ano x
[adimensional]

$L_{0(x)}$ = Potencial de geração de metano [Gg CH₄/Gg MSW]

$R(t)$ = Recuperação do metano [Gg CH₄/ano]

OX = Fator de oxidação [adimensional]

¹ O Municipal Solid Waste (MSW) equivale, na literatura nacional, ao Resíduo Sólido Urbano (RSU). Não estão incluídas nele outras classes de resíduos como os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), os Resíduos Sólidos Industriais (RSI) ou os Resíduos de Serviços de Saúde. (RSS).

4.3.11 Período de avaliação de emissões

Para a dinâmica das emissões foi utilizada as equações 2, 3 e 4 para realizar o cálculo da equação 5. Para a simulação foi seguida orientação bibliográfica - WEITZ (2012) e CHRISTENSEN *et Al.* (1998) – e o cenário foi de 30 anos, isto é, de 2006 a 2035.

5 Resultados e Discussão

Para a obtenção da quantidade de gases de efeito estufa depositadas no aterro sanitário da Caximba, foram obtidos outros resultados parciais e de fundamental importância para esse trabalho, como a população e a taxa de resíduos gerados por habitante $MSW_{T(x)}$ que serão apresentados a seguir.

5.1 População

Como resultado das taxas de crescimento populacional foi estimado a população e pode ser visualizada na tabela 3 – População estimada para o Município de Pinhais. Com a estimativa da população foi possível calcular a taxa de resíduos gerados por habitante para o município em estudo que será apresentada no item 5.2.

Tabela 3– População estimada para o Município de Pinhais

Ano	População contada/censo/estimativa de crescimento linear (habitantes)
2005	109.373
2006	110.698
2007 ²	112.038*
2008	113.671
2009	115.327
2010 ³	117.008*

Fonte: adaptado de IBGE pelo autor, 2012

5.2 Taxa de resíduos sólidos gerados por habitante (taxa $MSW_{T(x)}$)

A taxa $MSW_{T(x)}$ foi estimada a partir de dados do município da quantidade de resíduos sólidos disposta no aterro sanitário da Caximba no período citado e a população do período em questão.

² Contagem IBGE, 2007

³ Censo IBGE, 2010

O resultado apresentado na tabela 4 e no gráfico 1 mostra o crescimento linear da quantidade de resíduos produzidos pelos habitantes diariamente. Outro ponto importante de salientar é que o aumento na taxa $MSW_{T(x)}$ nem sempre é acompanhado das práticas ambientais mais eficientes ou adoção de novas tecnologias. O crescimento demográfico, alteração de hábitos de consumo, alimentares, melhoria na qualidade de vida, movimentos migratórios e desenvolvimento do parque industrial são fatores que podem influenciar no aumento da quantidade de resíduos. Em especial nos resultados é possível observar uma redução da taxa $MSW_{T(x)}$ para o ano de 2009, uma das possíveis causas poder ter sido a influência da crise mundial que eclodiu em outubro de 2008 nos Estados Unidos e a divulgação da administração municipal no programa de coleta seletiva. Mesmo assim a correlação (R) entre as variáveis foi acima de $R=0,9$

Tabela 4 -- Geração média de resíduos sólidos por habitante por dia do município de Pinhais para o período de julho de 2005 a dezembro de 2010

Ano	População	kg/(hab. dia) ($MSW_{T(x)}$)
2005	109.373	0,4717
2006	110.698	0,4977
2007	112.038	0,5207
2008	113.671	0,5506
2009	115.327	0,5299
2010	117.008	0,606
	Média no período	0,5294

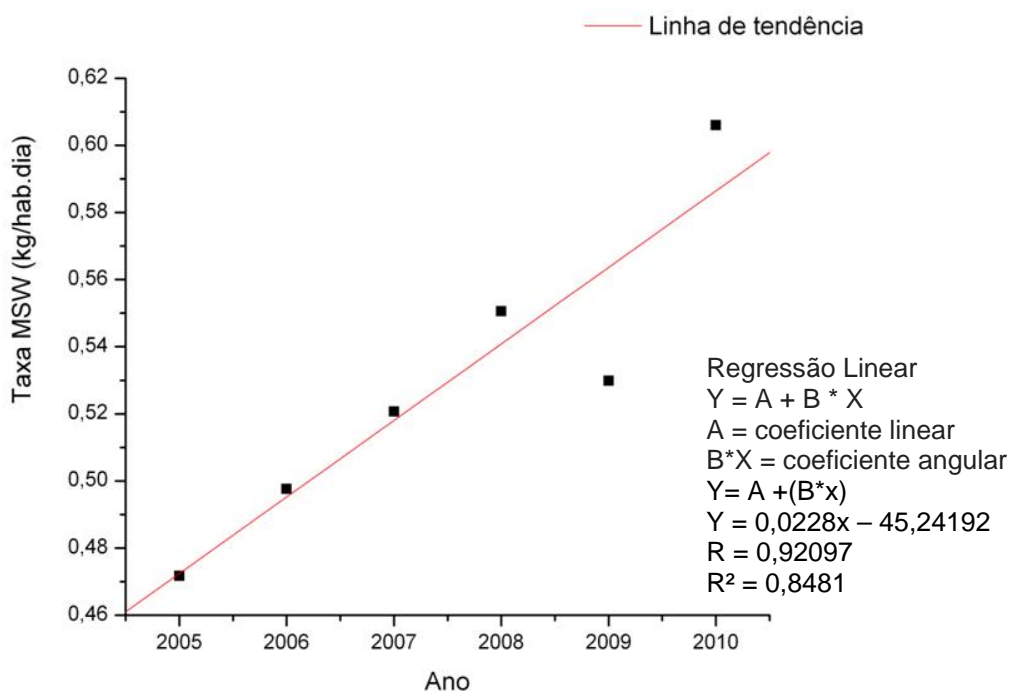


Gráfico 1- taxa MSW_T para o período de 2005-2010

5.3 Parâmetros e cálculos utilizados

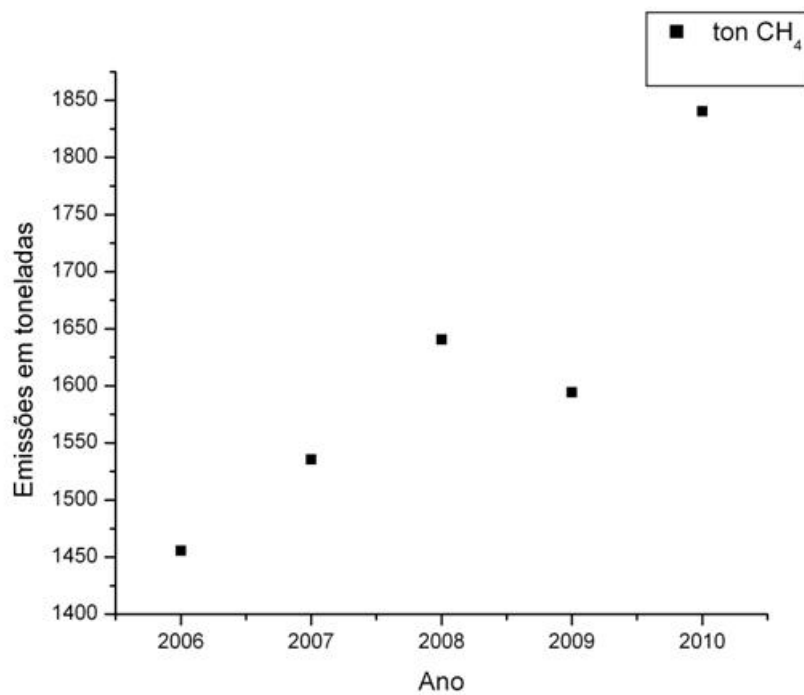
A fração de metano no gás do aterro, F , utilizada foi o valor recomendado pelo padrão fornecido pelo IPCC (2000) para aterro sanitário que é de 0,5 ou 50%. O metano recuperado, R , para o aterro em questão foi de 25%. O fator de oxidação OX adotado foi de zero.

Na tabela 5, a seguir são apresentadas as emissões para o período em toneladas de CH_4 e CO_2 . Para visualizar melhor os resultados da tabela 5 os valores foram plotados nos gráficos 2 e 3 são apresentados os resultados em ton. CH_4 e em ton. CO_2 de forma separada a fim de facilitar a visualização dos pontos. No ano de 2009, é possível identificar uma redução nas emissões dos dois GEE, quando comparamos com os resultados obtidos para o ano de 2008 a redução nas emissões acumulada no período em avaliação, 30 anos, é inferior a 3%, já quando comparamos com os resultados obtidos para o ano de 2010 é possível verificar que o crescimento desse ano em comparação ao ano de 2009 é superior a 15%.

Tabela 5 - resultados da dinâmica de emissões

Resultados

Ano	2006	2007	2008	2009	2010	Total
ton. CH ₄	1.455,78	1.535,58	1.640,46	1.594,47	1.840,55	8.750,86
ton. CO ₂ eq.	30.571,29	32.247,23	34.449,74	33.483,79	38.651,45	183.768,14

Gráfico 2– emissões de metano em ton. CH₄

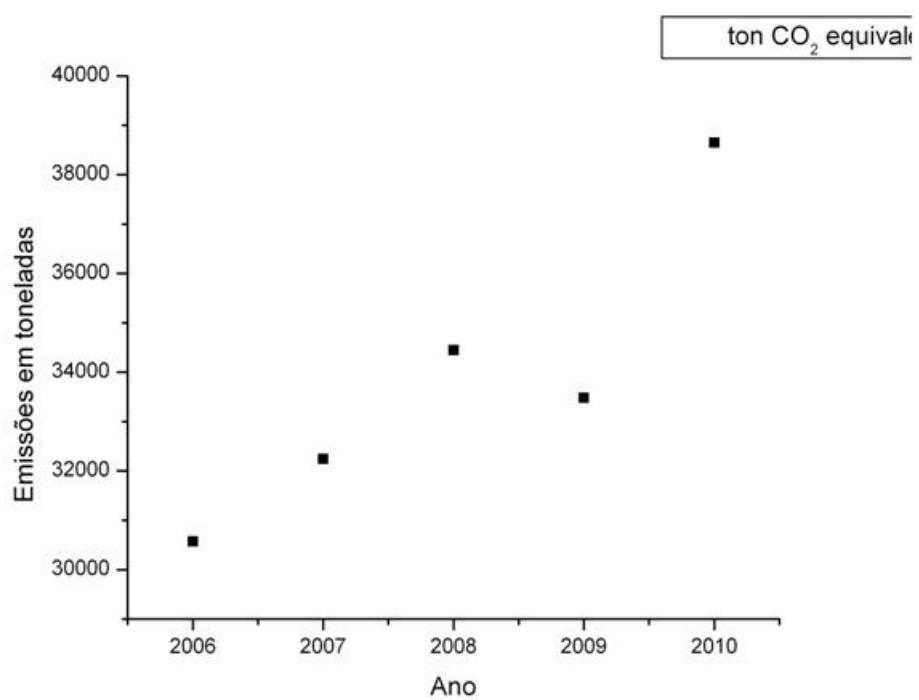


Gráfico 3— emissões de metano em ton. CO₂ equivalente

6 Conclusões e Recomendações

Durante a execução desse trabalho foi possível observar variações na taxa $MSW_{T(x)}$ e por consequência nas emissões de CH_4 e CO_2 , um dos fatores que podem ter influenciado foi a mudança de hábitos alimentares, de consumo dos brasileiros e renda nos últimos 20 anos.

A simulação da dinâmica utilizou o método do IPCC e um cenário de 30 anos totalizando emissões equivalente a 183768 ton CO_2 . Os resultados quantificam a estimativa e mostram a dinâmica do período avaliado, considerando a quantidade de gases pelo metano recuperado do aterro em questão. Com esses é esperado que seja estimulado a coleta de dados nos municípios (manutenção de série histórica) bem como maior estudo sobre a temática, que poderá vir a ser utilizada como instrumentos e subsídios para formulação de políticas públicas, visto o plano de saneamento básico, que inclui a drenagem de águas pluviais, da distribuição de água potável, coleta e tratamento de esgotos sanitários e o resíduo sólido urbano, de tal forma que há certo cunho sócio ambiental direcionado ao plano nacional de saneamento básico em especial aos aterros sanitários.

Apesar da existência Política Nacional de Mudanças Climáticas e da Política Nacional de Resíduos Sólidos ainda não foram implantadas em muitos municípios brasileiros, restando ainda um logo trabalho a ser realizado, fazendo referência aos planos de saneamento básico o município em questão ainda não possui o plano municipal de resíduos sólidos em apartado o primeiro, bem como muitos municípios paranaenses que ainda não possuem nenhum dos dois, tornando ausente essa importante política pública. A ausência dessas poderá vir a acarretar prejuízo para a população e consequentemente para os municípios e estados em especial os que dependem do fundo de participação dos municípios. Além disso a omissão do poder publico local poderá vir a trazer prejuízos a nível nacional visto que o país por não possuir inventariado as emissões poderá vir a sofrer restrições em caso de novo acordo de GEE.

Uma forma de solução, para alguns casos, poderia ser a junção de municípios, por meio de esforços, cooperação na forma de uma associação para a administração da disposição final dos resíduos, visto nas médias e grandes cidades a carência de local adequado para a disposição.

É esperado que esse estudo estimule futuras investigações e pesquisas nessa área visto o grande volume a ser sanado no Brasil. Uma das questões a ser respondida é se o problema a ser resolvido são os aterros sanitários e a quase inexistência percentual em território nacional desses ou se seria o investimento em programas de reciclagem ou ainda o consumo consciente. Acreditamos que devemos buscar a justamedida, o equilíbrio, pois dificilmente poderemos ser tão eficientes e eficazes a ponto de não produzirmos mais resíduos, quizá os processos produtivos que possuímos o domínio não irão produzir resíduos. Então nos resta a busca ao equilíbrio entre o consumo consciente e os resíduos que produzimos. Uma das formas poderá vir a auxiliar para boas práticas de sustentabilidade visando a redução de volumes depositados, bem como uma inserção maior da reciclagem.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatórios de Referência Emissões de metano no tratamento e na disposição de resíduos - Relatório de Referência. Brasília, DF: Editora do Ministério de Ciência e Tecnologia, 2006.

BRASIL. Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatórios de Referência Emissões de metano no tratamento e na disposição de resíduos - Relatório de Referência. Brasília, DF: Editora do Ministério de Ciência e Tecnologia, 2010.

BRASIL. Lei nº 8666 de 21 de junho de 1993. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Programa de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares e de serviços de saúde Prolixo, São Paulo, Editora da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1992.

CHRISTENSEN, J.B.; JENSEN, D.L.; FILIP Z., GRØN C.; CHRISTENSEN T.H. Characterization of the dissolved organic carbon in landfill polluted groundwater. Water Research, v. 32, n. 1, p. 125, 1998.

FINCO, M. V. A.; VALADARES, M. B.; Silva, M. A. **Gestão de Resíduos Sólidos na Cidade de Palmas/TO: Contribuições ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**. UFT – Universidade Federal do Tocantis, Palmas – TO, Brasil. Publicado em meio eletrônico disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/6/832.pdf>. Acesso em: 09/03/2012.

HOUGHTON, J. T.; MEIRA FILHO, L. G.; CALLANDER, B. A.; HARRIS, N.; KATENBERG, A.; MASKELL, K.. Climate Change 1995: The Science of Climate Change; Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University: Cambridge, U.K., 1996.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. Cartas Climáticas do Paraná. Monitoramento Anual. 2010. disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=860>> acesso em JUL 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (A) Indicadores de desenvolvimento sustentável - 2004 - Dimensão ambiental saneamento, Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (B). Censo Demográfico 1991. Banco de Dados. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm>>. Diretório: "Censo_Demográfico_1991\Populacao_Residente_Urbana_Rural". Acesso em: 20 mai. 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (C). Censo Demográfico 2000. Banco de Dados. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm>>. Diretório: "Censo_Demográfico_2000\populacao". Acesso em: 20 mai. 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (C). Contagem da população 2007. Banco de Dados. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm>>. Diretório: "Contagem da População 2007\populacao". Acesso em: 20 mai. 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (C). Censo Demográfico 2010. Banco de Dados. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm>>. Diretório: "Censo_Demográfico_2010\populacao". Acesso em: 20 mai. 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (D). Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - Síntese de Indicadores: 1992, 1993, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2001, 2002, 2003, 2004 e 2005. Banco de dados. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#download>e Diretório: "Trabalho_e_Rendimento\Pesquisa_Nacional_por_Amostra_de_Domicilios_anual" e na página de Internet do SIDRA <(http://sidra.ibge.gov.br)>. Acesso em: 22 mai. 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (E). Pesquisa Industrial Anual - Produto. Banco de dados. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm>> Diretório: "Industrias_Extrativas_e_de_Transformacao\Pesquisa_Industrial_Anuar". Acesso em: 25 mai. 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (F). Atlas de Saneamento 2011 – Diretoria de Geociências – Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines For National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual Revised. United Kingdom: IPCC, 1996.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Good Practice Guidance and Uncertainly Management in National Greenhouse Gas Inventories. Japan: IPCC, 2000.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC Guidelines for Greenhouse Gas Inventories. Japan: Guidelines, 2006.

MORAIS, J. L.; Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005

MOHAREB, E. A.; MACLEAN, H. L.; KENNEDY, C. A.. Greenhouse Gas Emissions from Waste Management—Assessment of Quantification Methods. **Journal Of The Air & Waste Management Association**, London, UK, v. 61, n. 5, p.480-493, 01 may 2011. Mensal.

PARANÁ. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor de Resíduos no Paraná, ano base, 2005. Curitiba: Editora Imprensa Oficial do Governo do Estado do Paraná, 2007.

PINHAIS. Plano Municipal de Saneamento Básico, 2012. Pinhais: Editora Imprensa Oficial do Governo do Estado do Paraná, 2012.

RITZKOWSKI, M.; STEGMANN, R.. Generating CO₂-credits through landfill in situ aeration. **Waste Management**, v.30 n. 4, p. 702-706, 01 april 2010.

WEITZ, M.; COBURN, J. B.; SALINAS, E.. Estimating National Landfill Methane Emissions: An Application of the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change Waste Model in Panama. **Journal Of The Air & Waste Management Association**, London, UK, v. 58, n. 5, p.636-640, 1 may 2008. Mensal.